

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-214485

(43)Date of publication of application : 06.08.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/68

(21)Application number : 10-029266

(71)Applicant : DAINIPPON SCREEN MFG CO LTD

(22)Date of filing : 26.01.1998

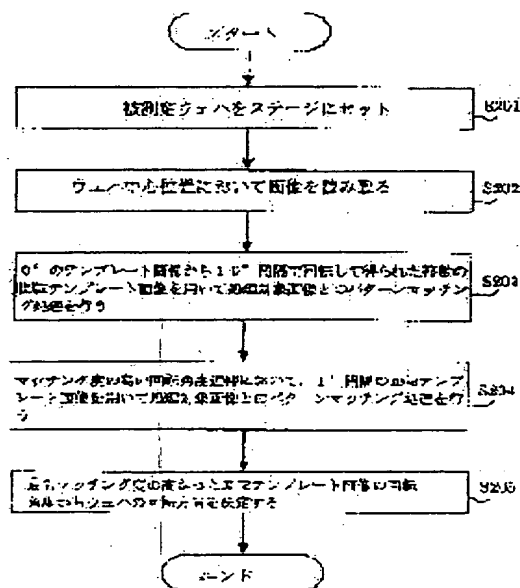
(72)Inventor : ATSUTA HITOSHI

(54) METHOD FOR DETERMINING ROTATION DIRECTION OF WAFER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To determine the rotation direction of a wafer without requiring a sensor dedicated for detecting notches on the wafer by increasing the level for evaluating the extent of matching in either one of a plurality of rotational states where the relative rotational angle between an image to be processed and the image of a template is different.

SOLUTION: A wafer to be measured is mounted on a stage and held in place (S201). Image at the central position of the wafer is then read out and stored as an image to be processed in a specified area of an image processing unit (S202). Subsequently, evaluation value of matching is calculated for 36 rotating template images having a rotational angular interval of 10° in the range of 0-350° (S203). Thereafter, a plurality of rotational template images are formed by turning the template image sequentially at a fine angular interval in the vicinity of a rotational angle having a highest matching evaluation value (S204). Finally, the rotational angle of a wafer to be measured is determined using the rotational angle having a highest matching evaluation value (S205).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-214485

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月6日

(51) Int.Cl.⁵

H 0 1 L 21/68

識別記号

F I

H 0 1 L 21/68

M

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号

特願平10-29266

(22) 出願日

平成10年(1998) 1月26日

(71) 出願人 000207551

大日本スクリーン製造株式会社

京都府京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1

(72) 発明者 熱田 均

京都市上京区堀川通寺之内上る4丁目天神北町1番地の1 大日本スクリーン製造株式会社内

(74) 代理人 弁理士 下出 隆史 (外2名)

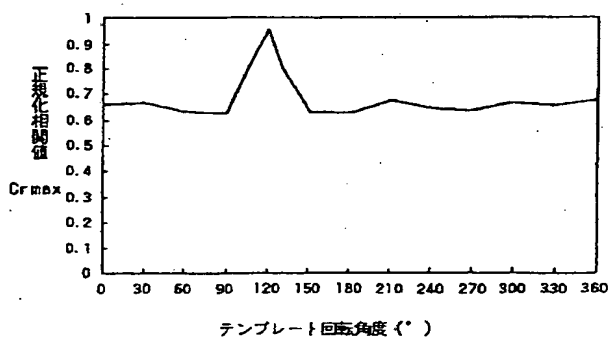
(54) 【発明の名称】 ウェハの回転方向決定方法

(57) 【要約】

【課題】 ウェハのノッチを検出するための専用のセンサを用いることなく、ウェハの回転方向を決定する。

【解決手段】 被測定ウェハの表面で撮像された処理対象画像と、予め準備されたテンプレート画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行ない、マッチング度を表す評価値をそれぞれ求める。そして、マッチング度の評価値が最大となる回転状態における回転角度から、被測定ウェハの回転方向を決定する。

第1実施例のステップS203で得られる評価値C_{rmax}



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ステージ上に載置された被測定ウェハの回転方向を決定する方法であって、(a)画像のパターンマッチングに用いるテンプレート画像を準備する工程と、(b)前記被測定ウェハ表面の一部の撮像領域の画像を処理対象画像として取り込む工程と、(c)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求める工程と、(d)前記複数の回転状態の中で前記評価値が最大となる回転状態における前記テンプレート画像と前記処理対象画像との回転角度から、前記被測定ウェハの回転方向を決定する工程と、を備えるウェハの回転方向決定方法。

【請求項2】 請求項1記載のウェハの回転方向決定方法であって、

前記工程(c)は、(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とが特定の間の回転角度を有する複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求める工程と、(2)前記工程(1)で得られた前記評価値から前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度を推定する工程と、

(3)前記特定の間の回転角度として前記工程(1)で使用された値よりも順次小さな値を選択しつつ、推定された回転角度の近傍において前記工程(1)および

(2)を繰り返す工程と、を備えており、

前記工程(d)は、

前記工程(1)ないし(3)によって最終的に得られた前記評価値が最大となる回転状態における前記テンプレート画像と前記処理対象画像との間の回転角度から、前記被測定ウェハの回転方向を決定する、ウェハの回転方向決定方法。

【請求項3】 請求項1記載のウェハの回転方向決定方法であって、

前記工程(c)は、(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とが特定の間の回転角度を有する複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求める工程と、(2)前記工程(1)で得られた前記評価値と回転角度との関係を補間する補間曲線を求め、前記補間曲線上において前記評価値が最も大きくなる回転角度を前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度として推定する工程と、(3)前記推定された回転角度の近傍において、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記評価値をそれぞれ求める工程と、を備える、ウェハの回転方向決定方法。

【請求項4】 請求項1記載のウェハの回転方向決定方法であって、

前記工程(c)は、(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像の相対的な回転角度と前記評価値との関係を予め登録する工程と、(2)前記テンプレート画像と前記処理対象画像との相対的な回転角度に関する少なくとも1つの回転状態における前記評価値と、前記予め登録された関係とに基づいて、前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度を推定する工程と、(3)前記推定された回転角度の近傍において、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記評価値をそれぞれ求める工程と、を備える、ウェハの回転方向決定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、ウェハの回転方向を決定する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体ウェハは、その製造工程において種々の装置によって処理される。装置によっては、装置のステージ上に載置されたウェハの回転方向(オリエンテーション)を認識する必要がある。例えば、ウェハの膜厚測定装置では、測定時にウェハ上の所定の測定ポイントに光学ヘッドを移動させるために、まず、ウェハの回転方向を検出し、この回転方向に応じて測定ポイントの位置にプローブを合わせる位置合せ処理(アライメント処理)が行われる。

【0003】ウェハの回転方向を検出するための従来技術としては、例えば特開平5-218179に開示されているものが知られている。この技術では、ウェハ外周に形成されたV字形の切り欠き部(ノッチ)を検出するために、CCDラインセンサのようなノッチ検出用センサを測定装置に設けておく。そして、ウェハをステージ上に保持した状態で回転させながらノッチ検出用センサからの出力信号を監視することによってノッチの位置を検出する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来は、ウェハの回転方向を検出するためにノッチ検出用センサを設けておく必要があったので、装置構成が複雑になるという問題があった。また、装置の構成によっては、ウェハの外周付近の位置にノッチ検出用センサを取り付けることが困難な場合もある。

【0005】本発明は、従来技術におけるこのような課題を解決するためになされたものであり、ウェハのノッチを検出するための専用のセンサを用いることなく、ウェハの回転方向を決定できる技術を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段およびその作用・効果】上述の課題の少なくとも一部を解決するため、本発明の方法は、ステージ上に載置された被測定ウェハの回転方向を決定する方法であって、(a)画像のパターンマッチングに用いるテンプレート画像を準備する工程と、

(b)前記被測定ウェハ表面の一部の撮像領域の画像を処理対象画像として取り込む工程と、(c)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求める工程と、

(d)前記複数の回転状態の中で前記評価値が最大となる回転状態における前記テンプレート画像と前記処理対象画像との回転角度から、前記被測定ウェハの回転方向を決定する工程と、を備える。

【0007】上記方法では、ステージ上に載置された被測定ウェハが任意の回転方向を有していても、処理対象画像とテンプレート画像との相対的な回転角度が異なる複数の回転状態のいずれかにおいてマッチング度の評価値が大きくなる。従って、その回転状態の回転角度から被測定ウェハの回転方向を決定することができる。この結果、ウェハのノッチを検出するための専用のセンサを用いることなく、ウェハの回転方向を決定することが可能である。

【0008】上記方法において、前記工程(c)は、

(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とが特定の間隔の回転角度を有する複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求める工程と、(2)前記工程(1)で得られた前記評価値から前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度を推定する工程と、(3)前記特定の間隔の回転角度として前記工程(1)で使用された値よりも順次小さな値を選択しつつ、推定された回転角度の近傍において前記工程(1)および(2)を繰り返す工程と、を備えており、前記工程(d)は、前記工程(1)ないし(3)によって最終的に得られた前記評価値が最大となる回転状態における前記テンプレート画像と前記処理対象画像との間の回転角度から、前記被測定ウェハの回転方向を決定するようにしてもよい。

【0009】こうすれば、パターンマッチングを行う角度間隔を順次小さくしながらマッチング度の高い回転角度を推定してゆくことができるので、最初から小さな角度間隔を用いる場合に比べてパターンマッチングの回数を低減することができる。

【0010】あるいは、上記方法において、前記工程(c)は、(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像とが特定の間隔の回転角度を有する複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度

を表す評価値をそれぞれ求める工程と、(2)前記工程(1)で得られた前記評価値と回転角度との関係を補間する補間曲線を求め、前記補間曲線上において前記評価値が最も大きくなる回転角度を前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度として推定する工程と、(3)前記推定された回転角度の近傍において、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記評価値をそれぞれ求める工程と、を備えるようにしてもよい。

【0011】このように、評価値の補間曲線から回転方向に相当する回転角度を推定するようにすれば、パターンマッチングの回数をさらに低減することが可能である。

【0012】あるいはまた、上記方法において、前記工程(c)は、(1)前記テンプレート画像と前記処理対象画像の相対的な回転角度と前記評価値との関係を予め登録する工程と、(2)前記テンプレート画像と前記処理対象画像との相対的な回転角度に関する少なくとも1つの回転状態における前記評価値と、前記予め登録された関係とに基づいて、前記被測定ウェハの回転方向に相当する回転角度を推定する工程と、(3)前記推定された回転角度の近傍において、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記評価値をそれぞれ求める工程と、を備えるようにしてもよい。

【0013】このように、回転角度と評価値との予め登録された関係から、ウェハの回転方向に相当する回転角度を推定するようにすれば、パターンマッチングの回数をさらに低減することが可能である。

【0014】

【発明の他の態様】この発明は、以下のような他の態様も含んでいる。第1の態様は、ステージ上に載置された被測定ウェハの回転方向を決定する装置であって、画像のパターンマッチングに用いるテンプレート画像を記憶するメモリと、前記被測定ウェハ表面の一部の撮像領域の画像を処理対象画像として取り込む撮像部と、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態においてパターンマッチングを行うことによって、前記テンプレート画像と前記処理対象画像とのマッチング度を表す評価値をそれぞれ求めるパターンマッチング部と、前記複数の回転状態の中で前記評価値が最大となる回転状態における前記テンプレート画像と前記処理対象画像との回転角度から、前記被測定ウェハの回転方向を決定する回転方向決定部と、を備えるウェハの回転方向決定装置としての態様である。

【0015】第2の態様は、コンピュータに上記の発明の各工程または各部の少なくとも一部の機能を実現させるコンピュータプログラムを記録するコンピュータ読取

り可能な記録媒体としての態様である。

【0016】第3の態様は、コンピュータに上記の発明の各工程または各部の少なくとも一部の機能を実現させるコンピュータプログラムを通信経路を介して供給するプログラム供給装置としての態様である。こうした態様では、プログラムをネットワーク上のサーバなどに置き、通信経路を介して、必要なプログラムをコンピュータにダウンロードし、これを実行することで、上記の方法や装置を実現することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】A. 装置の構成：次に、本発明の実施の形態を実施例に基づき説明する。図1は、この発明の実施例を適用して半導体ウェハの回転方向検出処理を行なう機能を有する測定装置の構成を示すブロック図である。この測定装置は、制御操作ユニット30と、光学ユニット40と、画像処理ユニット50とを備えている。

【0018】制御操作ユニット30は、表示部31と、操作部32と、制御部33と、ステージ駆動部34と、ステージ座標読み込み部35と、XYステージ36とを備えている。表示部31としては、例えばモニタや液晶ディスプレイ等が使用される。また、操作部32としては、例えばキーボードやマウス等が用いられる。XYステージ36の上には、半導体ウェハWFが載置される。半導体ウェハWFの表面には、タイル状に配列された矩形の複数の半導体チップが形成されている。

【0019】この装置は、XYステージ36を回転させる機構を有していないが、ステージの角度 θ を変更可変な回転機構を設けるようにしてもよい。例えば、X- θ ステージや、X-Y- θ ステージ等も使用可能である。また、ステージ36を移動させる代わりに光学ユニット40を移動させるような構成も可能である。すなわち、光学ユニット40内のカメラ41の視野がウェハ上の任意の位置を撮像できるような種々の構成を採用することができる。

【0020】光学ユニット40は、カメラ41と、光源42と、ハーフミラー43と、対物レンズ44とを備えている。ハーフミラー43は、光源42から出射された光を対物レンズ44に向けて反射し、XYステージ36上の半導体ウェハWFに光を照射する。半導体ウェハWFの表面で反射された光は、対物レンズ44とハーフミラー43とを通過して、カメラ41に入射する。すなわち、カメラ41は、半導体ウェハWFの表面の画像を撮像する。画像としては、多階調画像（グレイ画像）を読取ることが好ましい。後で詳述するように、半導体ウェハWFの多階調画像は、画像処理ユニット50によって処理され、これによって半導体ウェハWFの回転方向が検出される。画像処理ユニット50のモニタ136には、半導体ウェハWFの一部の撮像領域の多階調画像が表示される。

【0021】ユーザが操作部32を操作してXYステージ36に対する移動指令を入力すると、その指令に応じて、制御部33がステージ駆動部34を制御してXYステージ36をX方向とY方向に移動させる。また、操作部32からステージの座標読み込み指令が入力されると、その時点のステージ座標情報がステージ座標読み込み部35によって読込まれて制御部33に供給される。ステージ座標情報は、必要に応じて表示部31に表示される。ステージ座標情報は、さらに、双方向の通信経路38を介して制御部33から画像処理ユニット50にも供給される。後述するように、画像処理ユニット50は、画像処理によって認識されたウェハの回転方向と、このステージ座標情報とを利用することによって、ウェハの正確な回転方向や測定位置を決定する。

【0022】図2は、画像処理ユニット50の内部構成を示すブロック図である。この画像処理ユニット50は、CPU110と、ROM114と、RAM116と、画像メモリ（フレームメモリ）118と、入出力インタフェース140とが、バスライン112に接続されたコンピュータシステムとして構成されている。入出力インタフェース140には、モニタ136と、磁気ディスク138と、通信経路38とが接続されている。

【0023】RAM116には、テンプレート画像記憶領域150と、処理対象画像記憶領域152とが設けられており、また、パターンマッチング部154と、回転方向決定部156と、の機能を実現するアプリケーションプログラムが格納されている。これらのパターンマッチング部154と回転方向決定部156の機能については後述する。

【0024】これらの各部154、156の機能を実現するコンピュータプログラムは、フレキシブルディスクやCD-ROM等の、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録された形態で提供される。コンピュータは、その記録媒体からコンピュータプログラムを読み取って内部記憶装置または外部記憶装置に転送する。あるいは、通信経路を介してコンピュータにコンピュータプログラムを供給するようにしてもよい。コンピュータプログラムの機能を実現する時には、内部記憶装置に格納されたコンピュータプログラムがコンピュータのマイクロプロセッサによって実行される。また、記録媒体に記録されたコンピュータプログラムをコンピュータが読み取って直接実行するようにしてもよい。

【0025】この明細書において、コンピュータとは、ハードウェア装置とオペレーションシステムとを含む概念であり、オペレーションシステムの制御の下で動作するハードウェア装置を意味している。また、オペレーションシステムが不要でアプリケーションプログラム単独でハードウェア装置を動作させるような場合には、そのハードウェア装置自体がコンピュータに相当する。ハードウェア装置は、CPU等のマイクロプロセッサと、記

録媒体に記録されたコンピュータプログラムを読み取るための手段とを少なくとも備えている。コンピュータプログラムは、このようなコンピュータに、上述の各手段の機能を実現させるプログラムコードを含んでいる。なお、上述の機能の一部は、アプリケーションプログラムでなく、オペレーションシステムによって実現されていても良い。

【0026】なお、この発明における「記録媒体」としては、フレキシブルディスクやCD-ROM、光磁気ディスク、ICカード、ROMカートリッジ、パンチカード、バーコードなどの符号が印刷された印刷物、コンピュータの内部記憶装置（RAMやROMなどのメモリ）および外部記憶装置等の、コンピュータが読取り可能な種々の媒体を利用できる。

【0027】回転方向の決定処理に先だって、ステージ36上に載置されるウェハの中心位置に相当するステージ座標を決定するための較正処理が行われる。図3は、ステージ36上に載置されたステージ座標較正用の円盤70を示す平面図である。この円盤70は、例えば金属製であり、ウェハと同一の直径を有している。円盤70の中央には、ステージ座標較正用の十字マークCRが描かれている。円盤70の外周縁は、ステージ36に設けられている複数の保持ピン60によって保持されており、この結果、円盤70がステージ36のほぼ中央に位置決めされている。また、ステージ36自体も、所定の原点位置に位置決めされている。

【0028】この状態において、ステージ中央の画像を撮像してモニタ136に表示する。オペレータがマウスなどを用い、画像内の十字マークCRの位置を特定すると、ウェハの中心位置を示すステージ座標が所定の値を取るようステージ座標系が較正される。例えば、ウェハの中心位置のステージ座標は、ステージ中心のステージ座標と同じ値になるように較正される。

【0029】なお、以下に示す実施例では、保持ピン60で保持された状態におけるウェハの中心位置が、常にステージ36上の同一の位置に来るものと仮定する。ウェハは保持ピン60によって外周から保持されて位置決めされるので、このように仮定してもその誤差は無視できる程度である。本発明は、保持ピン60の無いステージにも適用可能である。

【0030】B. 回転方向決定処理の第1実施例：図4は、第1実施例における基準ウェハを用いた前処理の手順を示すフローチャートである。基準ウェハとしては、測定対象である被測定ウェハと同一の設計パターンが形成されたウェハが使用される。一般的には、同一のロットで処理された複数のウェハの1枚を基準ウェハとして使用し、他のウェハを被測定ウェハとして使用する。

【0031】図4のステップS101では、図5に示すように、基準ウェハWF1をステージ36上に載置する。ステージ36上に載置された基準ウェハWF1の外

周縁は、保持ピン60によって保持される。この結果、基準ウェハWF1の中心P0は、上述した較正処理における円盤70の中心と同じ位置に位置決めされる。また、ウェハ中心P0のステージ座標値は、ステージ中心のステージ座標値に等しくなる。

【0032】ステップS102では、基準ウェハWF1の外周部分をカメラ41で撮像しながらステージ36を移動させ、基準ウェハのノッチ部分が視野内に含まれる位置を見つける。この処理は、カメラ41で撮像された画像をモニタ136に表示させ、オペレータがこの画像を見ながら実行する。そして、ノッチ位置P1（図5）をオペレータが指示する。RAM116には、このノッチ位置P1を示すステージ座標値が記憶される。

【0033】図4のステップS103では、ウェハ中心P0の座標とノッチ位置P1の座標とに基づいて、ウェハ中心P0とノッチ位置P1とを結ぶ方向（ノッチ方向）Dnと、ステージ基準方向Dsとのなす角度 α が算出される。ステージ基準方向Dsはステージ座標系の基準方向であり、図5の例では時計の6時方向に固定されている。なお、ステージ36に回転機構が設けられており、ノッチ位置をステージ基準方向Dsに合わせることが可能であれば、 $\alpha=0^\circ$ とすることも可能である。

【0034】ステップS104では、ウェハ中心を視野内に含む位置で画像を取り込み、取り込んだ画像の中からパターンマッチングに用いるテンプレート画像をオペレータが指定して切り出す。具体的には、画像処理ユニット50内の画像メモリ118に取り込んだ画像をモニタに表示させて、オペレータがテンプレート画像として用いるパターン部分を指定する。図6は、撮像視野VW内の画像からテンプレート画像TM₀を切り出す処理を示す説明図である。テンプレート画像TM₀としては、回転対称性の無い画像が選択される。図6の例では、テンプレート画像TM₀には円形や三角形が含まれており、これらの幾何学形状には回転対称性があるが、テンプレート画像TM₀の全体としては回転対称性は無い。この例からも解るように、テンプレート画像TM₀は回転対称性の有るパターンを含んでいてもよいが、テンプレート画像TM₀の全体として回転対称性の無い画像が選ばれる。

【0035】このテンプレート画像TM₀を表す画像データは、テンプレート画像記憶領域150（図2）に格納される。テンプレート画像TM₀は、ステージ基準方向Dsに対して正立しており、ノッチ方向Dnに対しては角度 α だけ傾いている。そこで、ステップS104では、この角度 α の値もRAM116内に記憶される。テンプレート画像TM₀と角度 α は、ハードディスク138に格納するようにしてもよい。なお、このテンプレート画像TM₀を、以下では「0°のテンプレート画像」または「原テンプレート画像」と呼ぶ。

【0036】図7は、被測定ウェハを用いて行う回転方

向検出処理の手順を示すフローチャートである。ステップS201では、被測定ウェハをステージ36上に載置して保持ピン60(図5)で保持する。被測定ウェハの表面には基準ウェハWF1と同じ設計パターンが形成されているが、ノッチ方向は任意の方向を取り得る。

【0037】ステップS202では、ウェハ中心位置において画像を読み取り、画像処理ユニット50内の処理対象画像記憶領域152に処理対象画像として記憶する。ステップS203では、テンプレート画像記憶領域150に記憶された0°のテンプレート画像TM₀を用いて、10°間隔で順次回転した36個の回転テンプレート画像TM_βを作成し、ステップS202で読み取った処理対象画像との間でパターンマッチング処理を行う。

【0038】図8は、回転テンプレート画像TM_βの作成方法を示す説明図である。図8(a)には、0°のテンプレート画像TM₀が示されている。テンプレート画像記憶領域150には、0°のテンプレート画像TM₀よりもやや広い領域の画像IM(広域テンプレート画像)が記憶されている。0°のテンプレート画像TM₀を反時計回りに10°回転した回転テンプレート画像TM₁(図8(b))は、広域テンプレート画像IMをその中心Cの回りに10°回転させた状態において、正立した画像として抽出される。また、この回転テンプレート画像TM₁は、0°のテンプレート画像TM₀と同じ中心Cを有している。20°回転した回転テンプレート画像TM₂(図8(c))も同様である。この結果、ス*

*ステップS203では、0~350°の範囲において10°間隔の回転角度をそれぞれ有する36個の回転テンプレート画像TM_βが得られる。なお、0°と360°の回転テンプレート画像としては、原テンプレート画像TM₀がそのまま使用される。これらの複数の回転テンプレート画像TM_βは、基準ウェハでの前処理時に予め作成して記憶しておき、それを読み出して使用してもよい。パターンマッチング部154は、図9に示すように、各回転テンプレート画像TM_βを用いて処理対象画像OIMとのパターンマッチング処理を実行して、マッチング度(一致度)を表す評価値を算出する。

【0039】図10は、パターンマッチングの方法を示す説明図である。図10(a)に示すように、テンプレート画像TMのサイズをMX×MYとし、その座標を(i, j)で表す。また、図10(b)に示すように処理対象画像OIMのサイズをNX×NYとし、その座標を(k, l)で表す。このとき、テンプレート画像データは二次元行列f[i][j](0≤i≤MY-1, 0≤j≤MX-1)で表され、処理対象画像データは二次元行列g[k][l](0≤k≤NY-1, 0≤l≤NX-1)で表される。テンプレート画像TMの基準点Oを例えば左上隅点とし、この基準点Oを処理対象画像OIMの走査点(k, l)に一致させたときの正規化相関値C_r(k, l)は、例えば次の数式1で与えられる。

【0040】

【数1】

$$C_r(k, l) = \frac{\sum_{i=0}^{MY-1} \sum_{j=0}^{MX-1} (f[i][j] - f_{ave})(g[l+i][k+j] - g_{ave})}{\sqrt{\sum_{i=0}^{MY-1} \sum_{j=0}^{MX-1} (f[i][j] - f_{ave})^2} \sqrt{\sum_{i=0}^{MY-1} \sum_{j=0}^{MX-1} (g[l+i][k+j] - g_{ave})^2}}$$

【0041】ここで、f_{ave}はテンプレート画像データの平均濃度値、g_{ave}は処理対象画像データについての現在の処理対象範囲(すなわちテンプレート画像TMで覆われる範囲)の平均濃度値である。上記数式1の左辺の値C_r(k, l)は、-1から+1までの範囲の値をとる。テンプレート画像TMの範囲内において、テンプレート画像TMと処理対象画像OIMとが完全に一致すればC_r(k, l)=1、0になる。そして、テンプレート画像TMと処理対象画像OIMとの一致度(マッチング度)が低下するに従って、C_r(k, l)の値は小さくなる。本実施例では、パターンマッチングのマッチング度を表す評価値として、処理対象画像OIMの各点(k, l)における正規化相関値C_rの中の最大値C_r_{max}を用いる。

【0042】図7のステップS203では、0~350°の範囲において10°間隔の回転角度を有する36個の回転テンプレート画像TM_βに関して、マッチング

度の評価値C_r_{max}をそれぞれ算出する。図11は、こうして得られた評価値C_r_{max}の分布の一例を示すグラフである。この図11の結果では、最も評価値C_r_{max}が大きな状態におけるテンプレート画像の回転角度は120°である。この回転角度(120°)が被測定ウェハの回転方向に対応する角度であるとも可能である。

【0043】しかし、ステップS203では、かなり大きな角度間隔(10°)でテンプレート画像を回転させており、ウェハの回転方向の検出精度もこの角度間隔に等しい。そこで、より高精度にウェハの回転方向を検出するために、角度間隔を小さくして再びパターンマッチングを行うことが好ましい。すなわち、図7のステップS204では、ステップS203においてマッチング度が最も高い回転角度の近傍において、テンプレート画像をより細かい角度間隔(1°)で順次回転させた複数の回転テンプレート画像TM_βを作成する。例えば、1

20°を中心として1°間隔で±5°ずつ回転させることによって115°～119°、121°～125°の範囲の10個の回転テンプレート画像TM_βを新たに作成し、処理対象画像OIMとのパターンマッチングをそれぞれ実行する。

【0044】ステップS205では、回転方向決定部156が、マッチング度の評価値C_{r max}が大きな値となる回転角度βを用いて被測定ウェハの回転角度を決定する。例えば、回転角度がβのときにマッチング度の評価値C_{r max}が最大であるとき、被測定ウェハの回転方向を示す回転角度は、α+βで与えられる。ここで、αは、基準ウェハWF1の前処理で求めておいたノッチ方向D_nとステージ基準方向D_sとのなす角度である(図5)。なお、0°のテンプレート画像TM₀の切り出し時(図6)において、ノッチ方向D_nに対して正立するように0°のテンプレート画像TM₀を切り出した場合には、αは0である。この場合には、ステップS204で得られる回転角度βが、被測定ウェハの回転方向を示す回転角度となる。

【0045】なお、ステップS203(またはステップS204)で得られたマッチング度の評価値C_{r max}が所定の閾値(例えば0.7)を越えないような場合には、被測定ウェハの中心付近で撮像された処理対象画像内にテンプレート画像と同じパターンが含まれていない可能性が高い。そこで、この場合には、エラーであることをモニタ136に表示して処理の全体を終了するようにしてもよい。こうすれば、無駄な処理を省略することができる。

【0046】なお、上記第1実施例ではテンプレート画像を回転させていたが、この代わりに処理対象画像を回転させるようにしてもよい。すなわち、一般に、テンプレート画像と処理対象画像とを相対的に回転させた複数の回転状態でパターンマッチングを行うようにすればよい。これは以下に説明する他の実施例でも同じである。

【0047】以上のように、第1実施例では、まず、比較的大きな角度間隔(10°)でテンプレート画像と処理対象画像とのマッチング度を評価し、次に、マッチング度の高い回転角度の近傍において、比較的小さな角度間隔(1°)でテンプレート画像と処理対象画像とのマッチング度を評価した。そして、小さな角度間隔におけるマッチング度の評価値が最も大きな回転角度からウェハの回転方向を決定した。これらの処理は、すべて画像処理によって行うことができるので、ノッチ検出用の専用のセンサを用いることなく、ウェハの回転方向を決定することができる。

【0048】なお、被測定ウェハの回転角度があまり大きくない場合には、最初から小さな角度間隔(例えば1°)でテンプレート画像と処理対象画像とのマッチング度を評価することも可能である。しかし、被測定ウェハが任意の回転方向を取りうる場合には、上記第1実施例

のように角度間隔を順次小さくしてゆくことによって、パターンマッチングの回数を低減することができるという利点がある。

【0049】C. 回転方向決定処理の第2実施例: 図12は、第2実施例における基準ウェハでの前処理の手順を示すフローチャートである。ステップS101～ステップS104までは前述した図4に示す第1実施例と同じであり、ステップS105が追加されている。

【0050】ステップS105では、0°のテンプレート画像TM₀を所定の角度間隔(例えば30°)で順次回転させて得られた複数の回転テンプレート画像と、0°のテンプレート画像TM₀とのパターンマッチングを行い、マッチング度の評価値C_{r max}をそれぞれ求める。図13は、こうして得られた評価値C_{r max}と回転角度との関係を示すグラフである。この例では、回転角度が0°(=360°)のときに評価値C_{r max}が最大となり、回転角度が20°～340°の範囲では評価値C_{r max}は0.7以下となっている。図13の関係はハードディスク138に格納され、被測定ウェハにおける回転方向決定処理に利用される。

【0051】図14は、第2実施例における被測定ウェハでの前処理の手順を示すフローチャートである。この手順は、前述した第1実施例(図7)のステップS203を2つのステップS203a、S203bに置き換えたものであり、他のステップは同一である。

【0052】ステップS203aでは、30°間隔の複数の回転テンプレート画像を用いて処理対象画像とのパターンマッチング処理を行い、マッチング度の評価値C_{r max}が所定の第1の閾値以上になる回転角度β₁を探索する。例えば、被測定ウェハが約120°回転していたと仮定すると、0°のテンプレート画像TM₀と処理対象画像とのパターンマッチング処理で得られる評価値C_{r max}は図13から約0.64(テンプレート回転角度が120°の値)となる。

【0053】ステップS203aで用いられる第1の閾値は、以下のように設定される。まず、図13のグラフにおいて、テンプレート画像と処理対象画像とが完全に一致する状態(図13の0°の状態)を中心として、回転テンプレート画像の角度間隔30°と等しい幅の範囲Rを考える。第1の閾値は、この範囲Rにおける評価値C_{r max}の最小値よりもやや小さい値に設定することが好ましい。例えば、図13の例では、範囲Rにおける評価値C_{r max}の最小値は約0.8なので、第1の閾値を0.7に設定することができる。こうすれば、評価値C_{r max}が第1の閾値以上になるか否かを判断することによって、ウェハの回転方向を示す回転角度の近傍にあるか否かを推定することができる。

【0054】評価値C_{r max}が第1の閾値未満の場合には、正しい回転角度から30°以上離れていると考えられる。そこで、ステップS203aでは、さらに30°

回転させた次の回転テンプレート画像を用いて再度パターンマッチングを行なう。こうして、 30° 間隔で順次回転させた回転テンプレート画像を用いて処理対象画像とのパターンマッチングを行ってゆき、その評価値 $C_{r \max}$ が第1の閾値以上になる回転角度を探索する。評価値 $C_{r \max}$ が第1の閾値 (0.7) 以上の値になったときには、ウェハの回転方向を示す回転角度の近傍にあると判断して、ステップ $S203b$ に移行する。

【0055】ステップ $S203b$ では、ステップ $S203a$ において第1の閾値を越える評価値 $C_{r \max}$ が得られた回転角度の近傍において、より小さな角度間隔 (例えば 10° あるいは 15°) でテンプレート画像を回転させながらパターンマッチングを行う。そして、評価値 $C_{r \max}$ が第2の閾値以上になる回転角度を探索する。第2の閾値は、第1の閾値 (0.7) よりも大きな任意の値に設定することができる。例えば第2の閾値を 0.9 に設定することができる。評価値 $C_{r \max}$ が第2の閾値以上の値になったときには、ステップ $S204$ に移行する。以下の処理は前述した図7に示す第1実施例と同じである。

【0056】このように、第2実施例においては、まず比較的大きな角度間隔を用いてウェハの回転方向に相当する回転角度を推定し、回転角度の間隔を小さくして行きながら、推定の精度を向上させる。そして、最終的に必要な角度精度 (例えば 1° や 0.5°) の間隔でパターンマッチングを行い、評価値 $C_{r \max}$ が最大値となるときの回転角度を採用する。このような処理手順を採用することによって、パターンマッチングを行う回数を第1実施例よりも少なくでき、高速にウェハの回転方向を検出することができる可能性がある。

【0057】D. 回転方向決定処理の第3実施例: 図15は、第3実施例における被測定ウェハでの処理の手順を示すフローチャートである。基準ウェハの前処理は、第2実施例と同じである。図15の手順は、第2実施例 (図14) のステップ $S203a$ 、 $S203b$ をステップ $S203c$ に置き換え、ステップ $S204$ をステップ $S204a$ に置き換えたものである。

【0058】ステップ $S203c$ では、 30° 間隔の複数の回転テンプレート画像を用いて処理対象画像とのパターンマッチングを行い、評価値 $C_{r \max}$ と回転角度との関係を表す補間曲線を求める。図16は、ステップ $S203c$ で得られたマッチング度の評価値 $C_{r \max}$ の分布の一例を示すグラフである。白丸は評価値 $C_{r \max}$ の測定値を示し、白丸を接続する曲線は補間曲線である。補間曲線としては、多項式や直線補間式などの種々の式を用いて表される曲線または直線を使用することができる。ステップ $S203c$ では、さらに、この補間曲線のピーク位置の回転角度 (174°) を、ウェハの回転方向を示す回転角度と推定する。

【0059】ステップ $S204a$ では、推定された回転

角度の近傍において、より細かな角度間隔で (例えば 0.1° ずつ $\pm 1^\circ$ の範囲で) テンプレート画像と処理対象画像とのパターンマッチングを行う。ステップ $S205$ では、このパターンマッチングの結果から回転角度を決定する。

【0060】この第3実施例では、比較的大きな角度間隔で行ったパターンマッチングの評価値を補間することによってウェハの回転方向を示す回転角度を推定するので、パターンマッチングを行う回数をさらに少なくすることができ、より高速にウェハの回転方向を検出することができる可能性がある。

【0061】E. 回転方向決定処理の第4実施例: 図17は、第4実施例において使用される評価値 $C_{r \max}$ と回転角度との関係を示すグラフである。第4実施例における基準ウェハでの前処理は、前述した第2実施例 (図12) と同じであり、この結果、図17に示すグラフが得られたものと仮定している。図17のグラフは、第2実施例 (図13) のものと比べると下に凸の形状がより顕著になっている。この結果、評価値 $C_{r \max}$ の1つの値に対して、2つの回転角度をかなり明確に対応付けることができる。このような評価値 $C_{r \max}$ と回転角度との関係は、テンプレート画像をうまく選択することによって得ることが可能である。第4実施例では、評価値 $C_{r \max}$ と回転角度のグラフが、このように下に凸の顕著な形状を示す場合 (評価値 $C_{r \max}$ の1つの値に対して回転角度の2つの値が対応するような対応関係を有する場合) に適用される。

【0062】図18は、第4実施例における被測定ウェハでの処理の手順を示すフローチャートである。図15の手順は、第3実施例 (図15) のステップ $S203c$ をステップ $S203d$ に置き換えたものである。

【0063】ステップ $S203d$ では、まず1つのテンプレート画像 (例えば 0° のテンプレート画像) を用いて処理対象画像とのパターンマッチングを行い、マッチング度の評価値 $C_{r \max}$ を求める。そして、この評価値 $C_{r \max}$ の値から、ウェハの回転方向を示す回転角度を推定する。例えば、評価値 $C_{r \max}$ が 0.7 であったと仮定すると、図17のグラフから、ウェハの回転方向を示す回転角度は、 69° または 299° であると推定される。

【0064】一方、最初のテンプレート画像における評価値 $C_{r \max}$ が図17のグラフの最低値 (約 0.5) に近い場合には、回転角度の推定値の信頼性がかなり低い。この場合には、例えばさらに 30° 回転させた回転テンプレート画像を用いてパターンマッチングを行って、ウェハの回転方向を示す回転角度を推定すればよい。すなわち、ステップ $S203d$ では、少なくとも1つの回転状態のテンプレート画像を用いて推定を行えばよい。

【0065】ステップ $S204a$ では、推定された回転

角度(69°および299°)の近傍において、より細かな角度間隔で(例えば0.1°ずつ±1°の範囲で)テンプレート画像と処理対象画像とのパターンマッチングを行う。そして、ステップS205では、このパターンマッチングの結果から回転角度を決定する。

【0066】なお、ステップS204aでは、回転角度の2つの推定値の近傍でそれぞれパターンマッチングを行う必要はなく、まず、いずれか一方の近傍でパターンマッチングを行うようにしてもよい。そして、第1の推定値の近傍においてマッチング度の評価値C_{r max}が所定の閾値(例えば0.9以上)にならない場合のみ、第2の推定値の近傍においてパターンマッチングを行うようにすればよい。

【0067】この第4実施例では、少なくとも1つの回転状態のテンプレート画像を用いたパターンマッチングの結果から、ウェハの回転方向を示す回転角度を推定するので、パターンマッチングを行う回数をさらに少なくすることができ、より高速にウェハの回転方向を検出することができる可能性がある。

【0068】なお、この発明は上記の実施例や実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【0069】(1)上記実施例において、ハードウェアによって実現されていた構成の一部をソフトウェアに置き換えるようにしてもよく、逆に、ソフトウェアによって実現されていた構成の一部をハードウェアに置き換えるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例を適用して半導体ウェハの回転方向検出処理を行う測定装置の構成を示すブロック図。

【図2】画像処理ユニット50の内部構成を示すブロック図。

【図3】ステージ36上に載置されたステージ座標校正用の円盤70を示す平面図。

【図4】第1実施例における基準ウェハの前処理の手順を示すフローチャート。

【図5】ウェハのノッチ方向とステージ基準方向との関係を示す説明図。

【図6】ウェハ中心で切り出すテンプレート画像の一例を示す説明図。

【図7】第1実施例における被測定ウェハの回転方向検出処理手順を示すフローチャート。

【図8】回転テンプレート画像の切り出し方法を示す説明図。

【図9】回転テンプレート画像を用いたパターンマッチング処理の内容を示す説明図。

【図10】パターンマッチングの方法を示す説明図。

【図11】図7のステップS203で得られたマッチング度の評価値C_{r max}の分布の一例を示すグラフ。

【図12】第2実施例における基準ウェハの前処理の手順を示すフローチャート。

【図13】図12のステップS105で得られたマッチング度の評価値C_{r max}の分布の一例を示すグラフ。

【図14】第2実施例における被測定ウェハの回転方向検出処理手順を示すフローチャート。

【図15】第3実施例における被測定ウェハの回転方向検出処理手順を示すフローチャート。

【図16】図15のステップS203cで得られたマッチング度の評価値C_{r max}の分布の一例を示すグラフ。

【図17】第4実施例において使用される評価値C_{r max}と回転角度との関係を示すグラフ。

【図18】第4実施例における被測定ウェハの回転方向検出処理手順を示すフローチャート。

【符号の説明】

30…制御操作ユニット

31…表示部

32…操作部

33…制御部

34…ステージ駆動部

35…ステージ座標読み込み部

36…XYステージ

38…通信経路

40…光学ユニット

41…カメラ

42…光源

43…ハーフミラー

44…対物レンズ

50…画像処理ユニット

60…保持ピン

70…ステージ座標校正用円盤

110…CPU

112…バスライン

114…ROM

116…RAM

118…画像メモリ

136…モニタ

138…磁気ディスク

140…入出力インタフェース

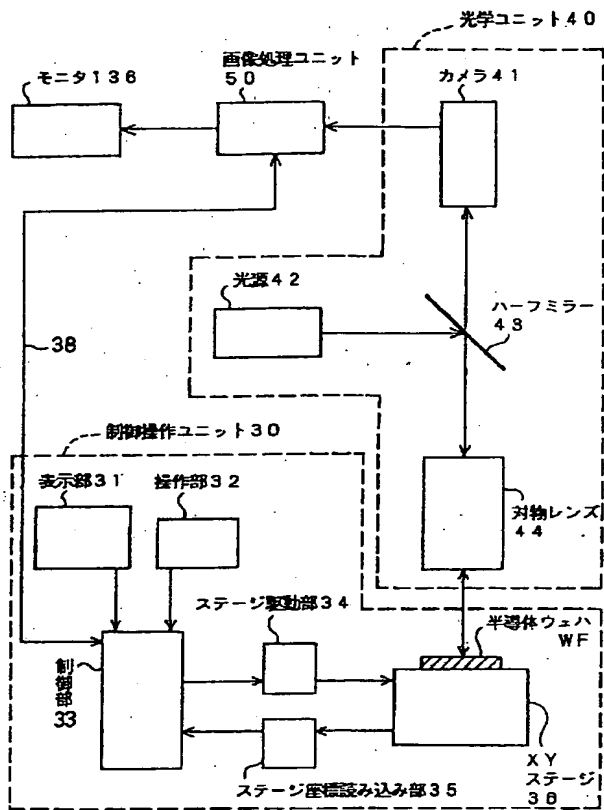
150…テンプレート画像記憶領域

152…処理対象画像記憶領域

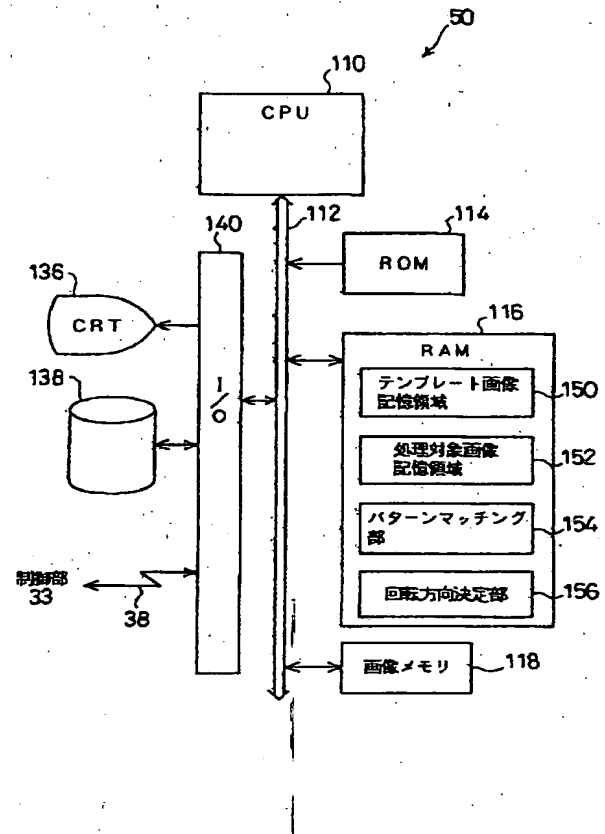
154…パターンマッチング部

156…回転方向決定部

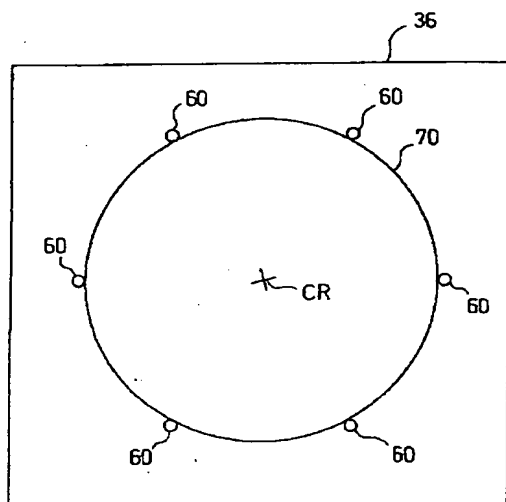
【図1】



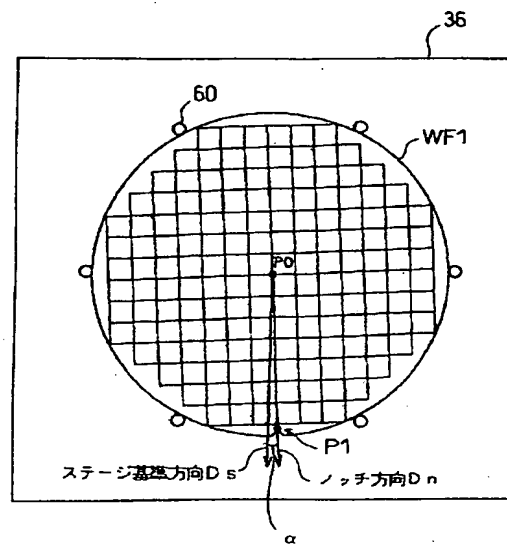
【図2】



【図3】

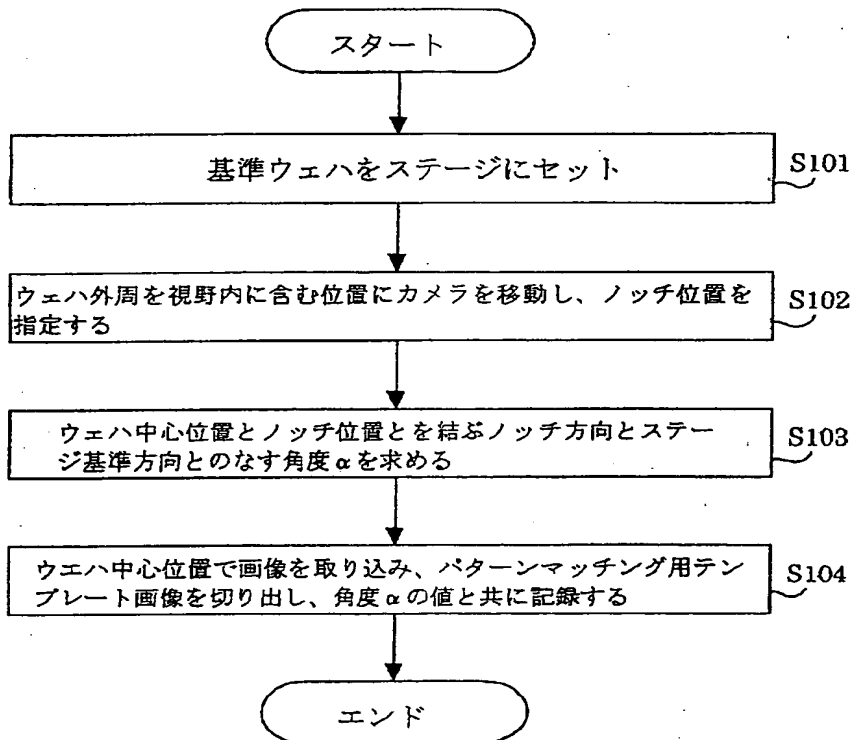


【図5】

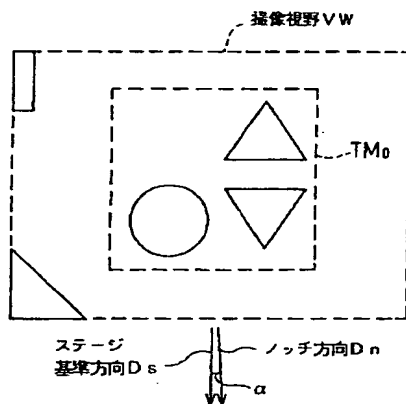


【図4】

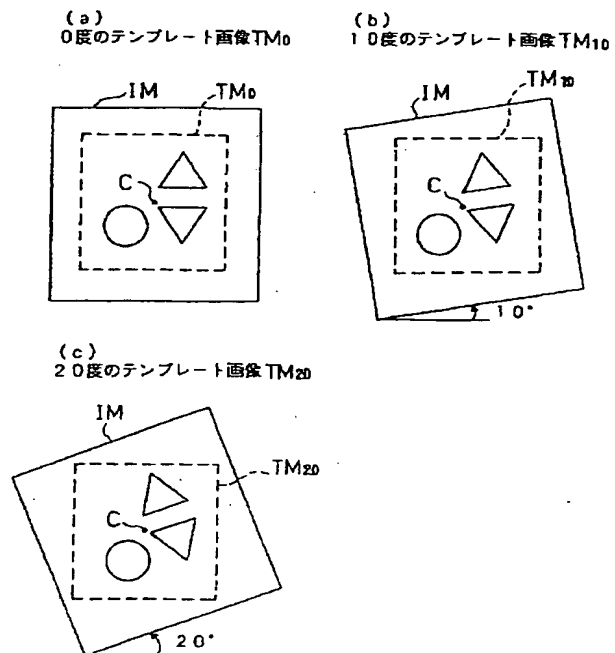
第1実施例における基準ウェハでの前処理



【図6】

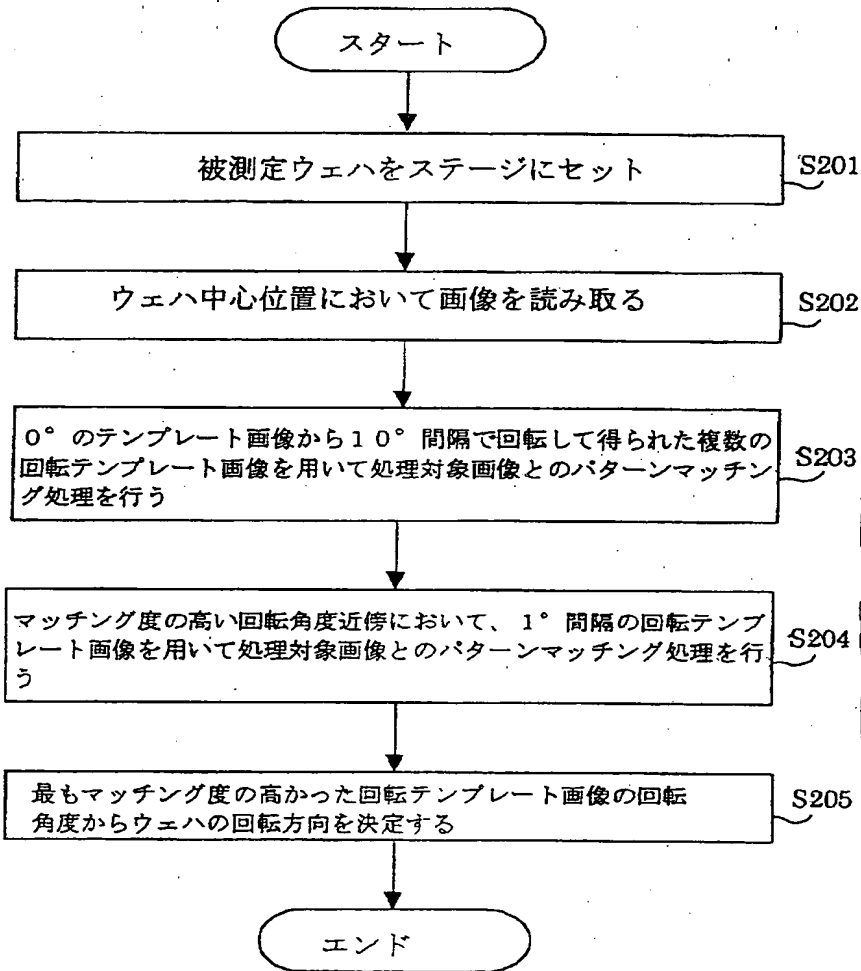


【図8】

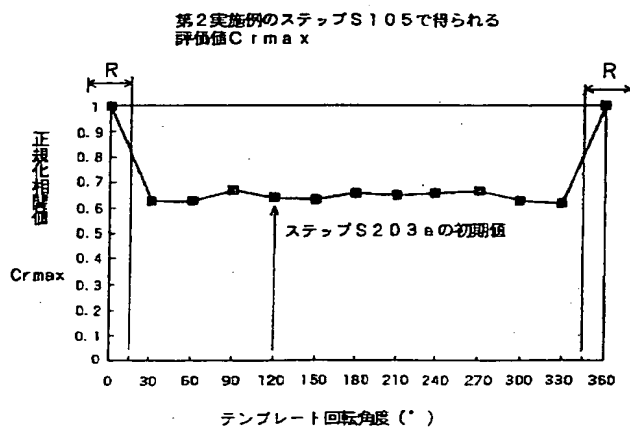


【図7】

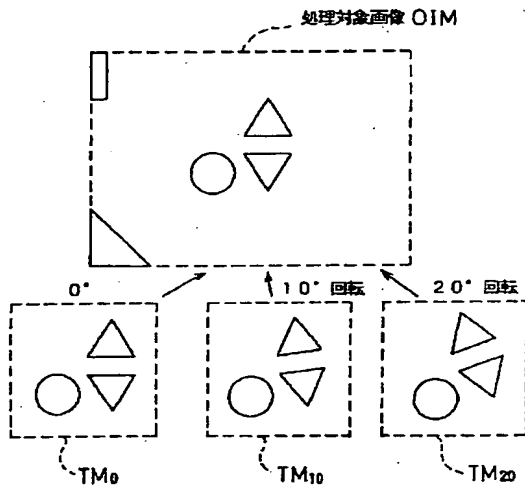
第1実施例における被測定ウェハでの処理



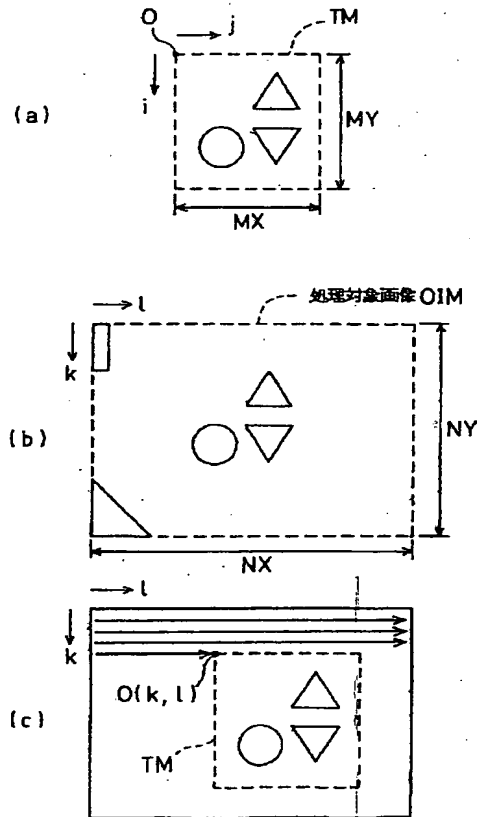
【図13】



【図9】

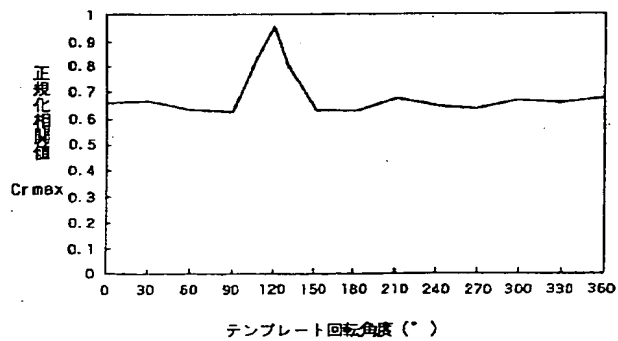


【図10】



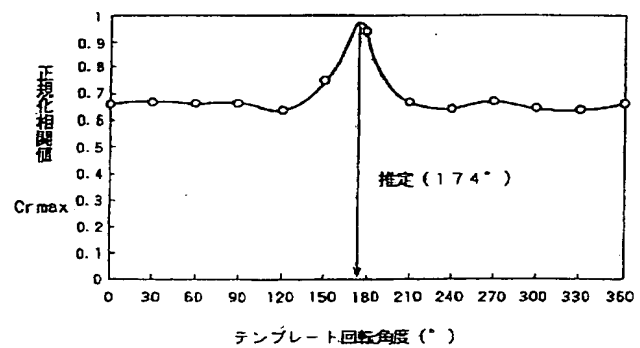
【図11】

第1実施例のステップS203で得られる
評価値 Cr_{max}



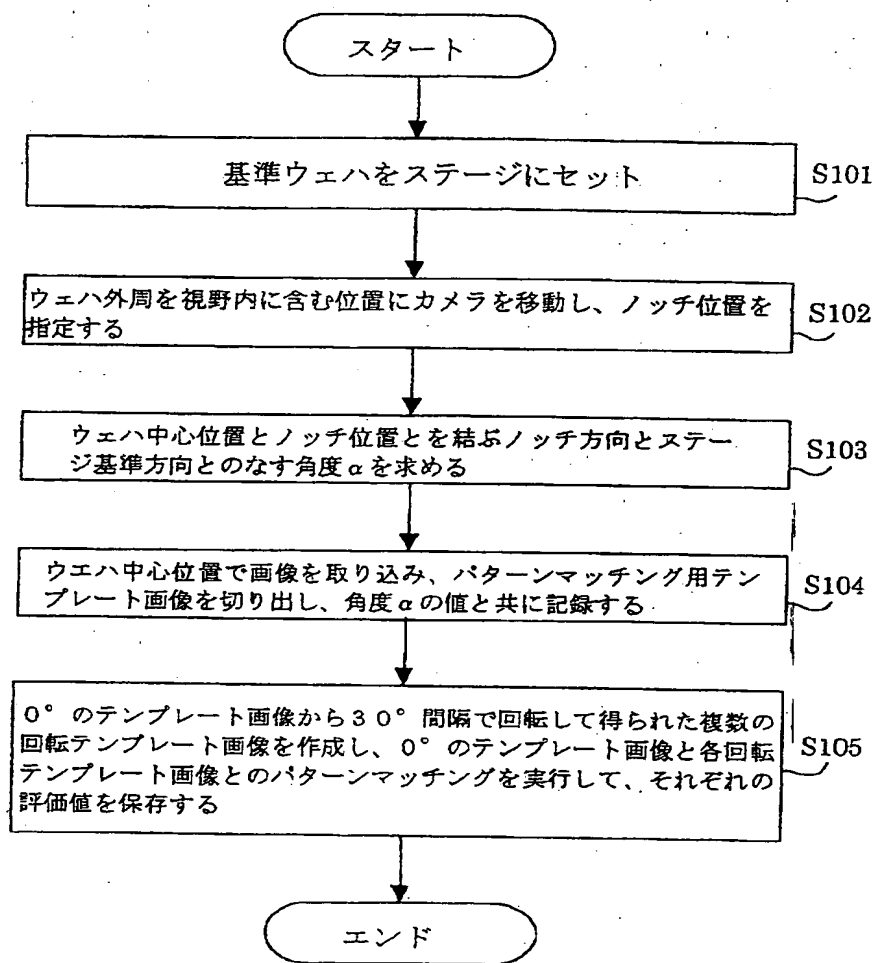
【図16】

第3実施例のステップS203で得られる
評価値 Cr_{max}



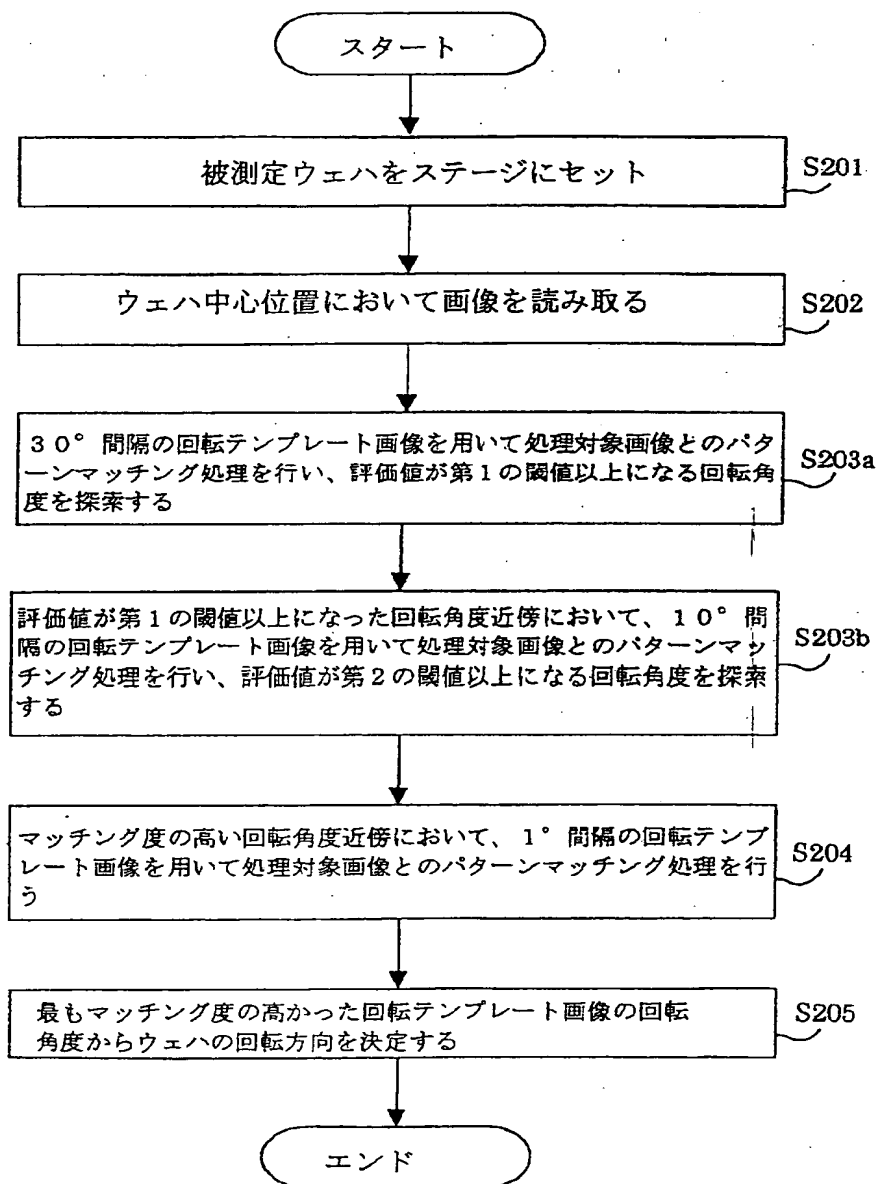
【図12】

第2実施例における基準ウェハでの前処理



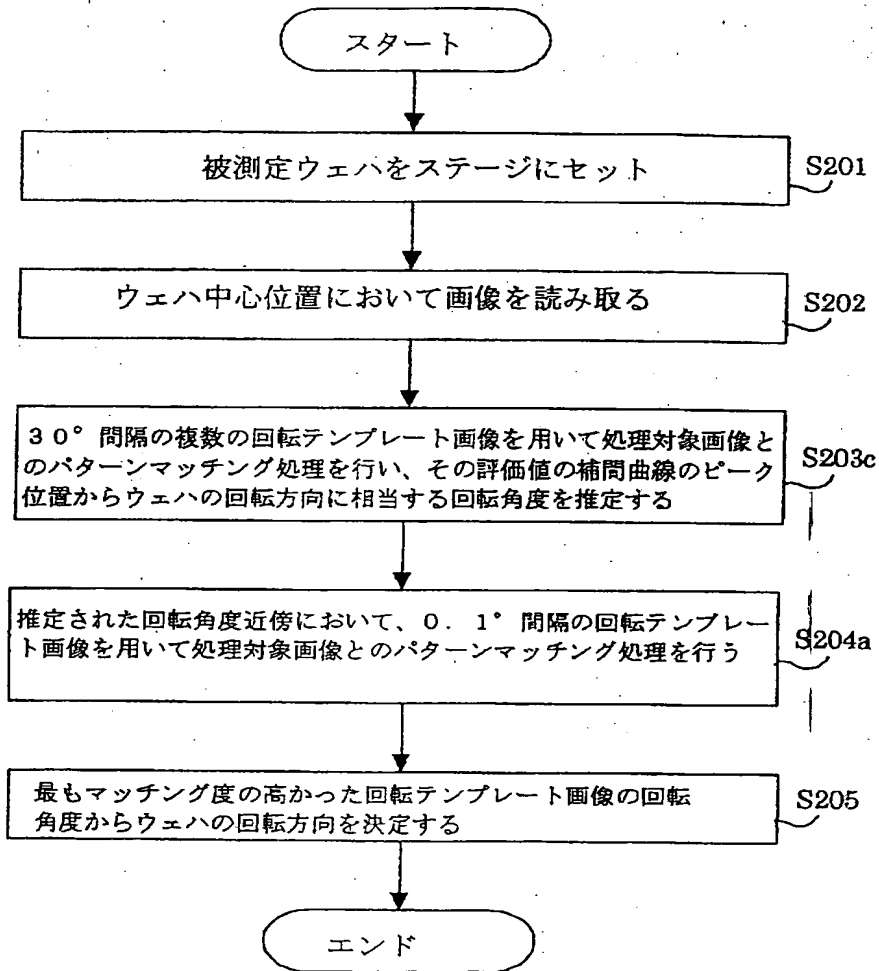
【図14】

第2実施例における被測定ウェハでの処理



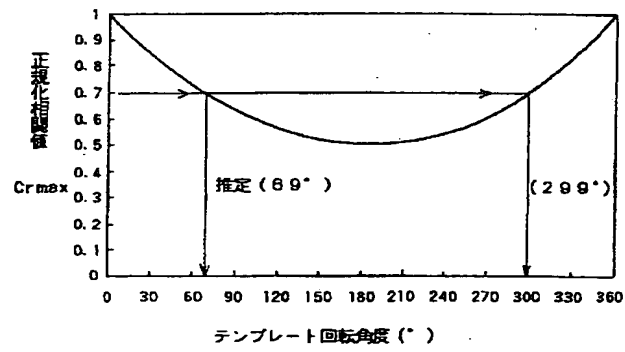
【図15】

第3実施例における被測定ウェハでの処理



【図17】

第4実施例で使用される評価値 C_{max} と
回転角度との関係



【図18】

第4実施例における被測定ウェハでの処理

